

## Rekabentuk Peranti Penceraai Optik Pelbagai Nisbah (MROS) Berasaskan Pandu Gelombang Planar untuk Penggunaan Kuasa Berkesan

(The Design Multi Ratio Optical Splitter (MROS) based on Planar Waveguide for an Effective Power Usage)

Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman\*, Norazilawati Md Zain & Aida Baharudin

### ABSTRAK

*Dalam kertas ini, kami mencadangkan rekabentuk penceraai optik pelbagai nisbah (Multi Ratio Optical Splitter, MROS) berasaskan pandu gelombang planar dengan bahan polimer SU-8. Teknologi ini menjamin penjimatan pada kos fabrikasi dan prestasi lebih baik berbanding dengan kaedah konvensional yang menggunakan gentian terlakur untuk fabrikasi penceraai optik. Peranti MROS ini dicadangkan untuk digunakan dalam rangkaian pasif capaian pengguna FTTH untuk pengurusan kuasa dalam memaksimum penggunaannya. Ini membolehkan isyarat ke premis pengguna dapat dihantar melebihi jarak sebenar (20 km) Peranti MROS ini merupakan yang pertama dilaporkan. Permasalahan yang timbul seperti kehilangan kuasa pada penceraai optik menjadi perkara utama yang akan dibincangkan. Hasil simulasi menunjukkan kehilangan kuasa pada peranti MROS adalah disebabkan beberapa faktor seperti perubahan lebar pandu gelombang, indeks biasan dan sudut capahan. Untuk memperolehi kuasa maksimum, nilai optimum parameter-parameter ini perlulah digunakan. Peranti yang direkabentuk ini sesuai digunakan pada panjang gelombang 1500 nm – 1600 nm. Dalam kajian ini hubungan bagi setiap parameter ini terhadap kuasa keluaran ditekankan.*

*Kata kunci: Penceraai optik pelbagai nisbah; pandu gelombang planar; polimer SU-8; parameter*

### ABSTRACT

*In this paper, we present the design of Multi Ratio Optical Splitter (MROS) based on planar waveguide with SU-8 polymer material. The technology ensures low cost fabrication and excellent performance as compared to conventional technique that uses fused coupler for optical splitter fabrication. The MROS is suggested to be used in passive customer access network FTTH-PON in power management in maximizing the consumption. With this, the distance can be extended as compare to the theoretical distance (20 km). It is the first time reported. The problems arose such as the loss of output power is also discussed. The simulation result shows that various factors; namely the width of waveguide, refractive index and wide-angle branching will increase the output power loss. To obtain maximum power, the optimization of those parameters' value must be used. This designed optical splitter is operated at wavelength 1500 nm – 1600 nm. In this study, we characterized the trend of total output power with the effect of the parameters studied.*

*Keywords: Multi Ratio Optical Splitter; planar waveguide; SU-8 polymer; parameters*

### PENGENALAN

Di dalam aplikasi *Fiber-to-the Home* (FTTH), pembahagi optik atau penceraai optik pelbagai nisbah direka bagi mengatasi masalah pembaziran kuasa. Selain itu peranti optik ini juga di bina untuk mengatasi masalah apabila jarak satu rumah tersebut adalah berbeza daripada rumah yang lain, lebih-lebih lagi jarak premis melebihi daripada jarak yang dibenarkan. Ianya diatasi dengan mengkustom kuasa yang dihantar mengikut jarak rumah masing-masing. Ini membolehkan isyarat yang dihantar adalah lebih jauh.

Satu pendekatan analisis kaedah perambatan alur (BPM) digunakan dalam menyelesaikan persamaan-persamaan gelombang skalar bagi polarisasi elektrik melintang (TE)

dan magnetik melintang (TM). Kaedah perambatan alur boleh digunakan untuk mengira amplitud medan elektrik di dalam dan di luar satu struktur belauan yang dirangsangkan oleh satu medan input sembarangan. Kaedah perambatan alur, merupakan satu kaedah langkah-demi-langkah untuk mensimulasikan laluan alur cahaya melalui sesuatu medium pandu gelombang (Feit et al. 1978 & Song et al. 2003). Kaedah perambatan alur merupakan perkakasan yang paling sesuai untuk merekabentuk peranti optik yang menggunakan konsep gandingan mod seperti pengganding berarah, pemultipleks dan penyahmultipleksan, penceraai dan juga penggabung optik (Azrulnizam 2005). Walaubagaimanapun ianya mempunyai batasan terhadap

rekabentuk optik yang berasaskan konsep pantulan seperti penuras jeriji Bragg.

Pandu gelombang merupakan salah satu komponen penting bagi membangunkan peranti optik bersepadu. Rekabentuk cabang Y mempunyai struktur yang ringkas dan penghasilan yang tinggi dan boleh difabrikasi peranti yang padat dengan nisbah capahan yang stabil dengan menggunakan litar gelombang cahaya planar (PLC) (Lin et al. 1999). Dengan mempertimbangkan kehilangan bagi kemampuan bahan optik iaitu kehilangan resapan, kehilangan sebaran (Scattering) dan kehilangan sinaran, polimer yang sesuai dihasilkan bagi mendapatkan ciri kehilangan yang rendah (Daum 2002). Kebaikan menggunakan polimer bagi menghasilkan litar bersepadu optik termasuk kos fabrikasi yang berpatutan berdasarkan teknologi yang digunakan dalam industri mikroelektronik. Tambahan pula, polimer mempunyai gabungan ciri elektro-optik tak linear, fotosensitif dan termo-optik (Norazan et al. 2004).

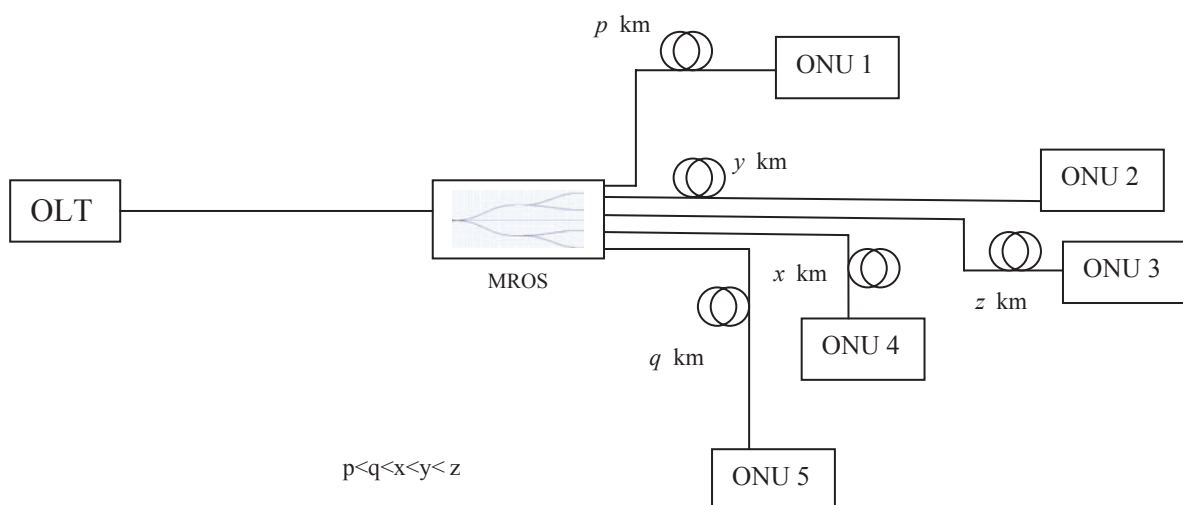
Bahan polimer SU-8 digunakan sebagai bahan pandu gelombang bagi menghasilkan peranti suis optik. SU-8 berasaskan struktur Epoxy, menguatkan sistem rintangan secara kimia dengan ciri sensitif dan nisbah aspek tinggi (High Aspect Ratio). SU-8 pertama kali digunakan dalam struktur mikro-elektro-mekanikal-sistem (MEMS) dan mikrosistem yang lain yang memerlukan ciri-ciri bukan konduktif (<http://www.gersteltec.ch>).

Pada kajian ini, MROS cabang Y direka terlebih dahulu bagi mendapatkan hasil yang diinginkan dengan menggunakan kaedah perambatan alur. Kajian dilakukan ke atas penceraai optik cabang Y simetri bagi mendapatkan kuasa keluaran yang simetri bagi peranti ini. Setelah mendapat hasil yang diinginkan kajian diteruskan dengan membuat analisis terhadap peranti dengan mengambil nilai parameter yang ditetapkan.

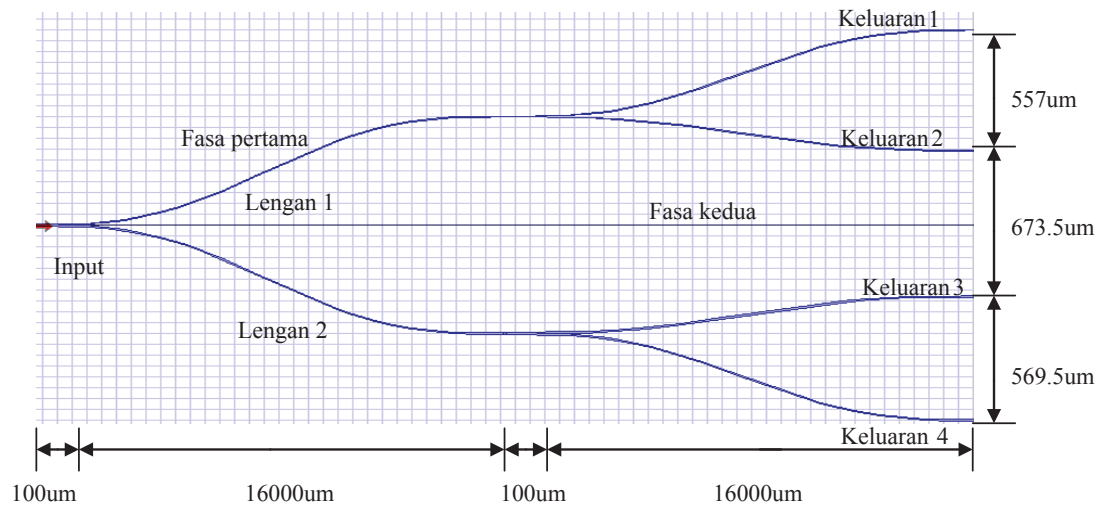
Peranti MROS ini direka dengan menggunakan bahan SU-8 terkomersial. Parameter seperti indeks biasan, panjang dan ketebalan pandu gelombang serta sudut capahan pada cabang Y perlu dianalisis dengan menggunakan simulasi BPM-CAD bagi tujuan mendapatkan rekabentuk yang optimum. Kajian secara simulasi ini penting dalam memperolehi keadaan yang terbaik yang dapat dicapai untuk peranti MROS ini. Kebiasaan hasil simulasi ini dijadikan titik ukur dan dibandingkan dengan hasil sebenar yang diukur pada peranti MROS selepas ianya dibangunkan. Untuk itu, kertas ini membincangkan kajian simulasi sebagai titik permulaan kepada pembangunan peranti MROS sebenar.

#### CADANGAN APLIKASI

Rajah 1 menunjukkan penggunaan pembahagi optik dalam rangkaian penghantaran di mana fungsinya membahagi isyarat optik dari terminal talian optik (*Optical Line Terminal*) ke rumah. Pada realiti jarak antara setiap rumah dari terminal talian optik tidak sama maka pembahagi optik pelbagai ini direkabentuk bagi mengatasi masalah ini. MROS membahagikan kuasa masukan kepada 10%, 20%, 30% dan 40% kuasa keluaran. Maka pembaziran kuasa ketika penghantaran data dapat dikurangkan dimana kuasa isyarat masukan dibahagikan mengikut jarak ke rumah. Selain itu, kelebihan penggunaan pembahagi optik pelbagai ini tidak perlu menggunakan penguat (*amplifier*) bagi membahagi kuasa isyarat untuk jarak yang berbeza. Ia sesuai untuk pemasangan rangkaian optik untuk penempatan berselerak seperti di kampung-kampung dan kawasan pedalaman. Rajah 1 menunjukkan kuasa yang diterima oleh setiap Optical Network Unit (ONU) yang dilabelkan sebagai p, q, x, y dan z berbeza mengikut nilai (jarak) dengan MROS.



RAJAH 1. Penggunaan Pembahagi Optik dalam Rangkaian *Fiber To The Home* (FTTH)



RAJAH 2. Bentangan Rekabentuk Pembahagi Optik Pelbagai

JADUAL 1. Masukan Data bagi Parameter-parameter

Parameter	Masukan data
Panjang substrat	32200 $\mu\text{m}$
Lebar substrat	1900 $\mu\text{m}$
Indeks biasan substrat wafer, n1	1.522
Indeks biasan pandu gelombang, n2	1.599
Lebar pandu gelombang	6 $\mu\text{m}$
Panjang gelombang	1550 nm
Medan	Gaussian
Nombor paparan	55
Pengutuban	TE dan TM
Penyelesaian BPM	Paraxial
Kaedah Sempadan	TBC ringkas
Bilangan mesh	20000

## REKABENTUK

MROS direkabentuk berasaskan pembahagi Y 1x2. Pada fasa keluaran pertama rekabentuk lengan mempunyai lebar pandu gelombang yang berbeza dimana pada lengan satu panjang pandu gelombang 4.6  $\mu\text{m}$  manakala panjang pandu gelombang lengan dua 6.5  $\mu\text{m}$ . Kuasa yang keluar pada fasa pertama bernisbah 3:7, iaitu 30% kuasa keluar pada lengan pertama dan 70% pada lengan kedua. Pada fasa kedua pula, lengan pandu gelombang direka dengan sudut capahan yang berbeza bagi mendapatkan kuasa keluaran yang diinginkan iaitu 10%, 20%, 30% dan 40% pada setiap lengan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 di sebelah. Lebar lengan 3 dan 4 sama dengan lengan satu dan begitu juga lengan 5 dan 6 sama lebar dengan lengan dua bagi mengurangkan kehilangan kuasa keluaran dari fasa pertama.

## SIMULASI PENCIRIAN

Analisa kajian ini tertumpu kepada kesan parameter-parameter yang dikaji terhadap kuasa keluaran. Parameter yang digunakan dalam simulasi ini ditunjukkan dalam Jadual 1. Rajah 3 menunjukkan kuasa perambatan di sepanjang pandu gelombang MROS. Rajah 4 pula menunjukkan graf 3-D nisbah indeks berkesan di sepanjang jarak perambatan pandu. Medan optik pada hujung perambatan pandu gelombang ditunjukkan dalam Rajah 5. Puncak amplitud isyarat dilabelkan dengan tanda bulat. Kuasa keluaran yang diukur di setiap lengan di sepanjang perambatan pandu gelombang MROS ditunjukkan dalam Rajah 6. Berikutnya pula dibentangkan hasil simulasi dilihat dari sudut nilai kuasa keluaran pada pengutuban medan elektrik (TE) dan medan magnet (TM) pada setiap pangkalan keluaran peranti.

Daripada hasil simulasi yang dijalankan ke atas

pembahagi optik pelbagai dengan menggunakan perisian BPM\_CAD didapati kuasa keluaran pada setiap pangkalan keluaran seperti berikut :

Pangkalan keluaran 1 : 0.074800207515 $\approx$ 7%	(10%)
Pangkalan keluaran 2 : 0.154832446992 $\approx$ 15%	(20%)
Pangkalan keluaran 3 : 0.312632040931 $\approx$ 31%	(40%)
Pangkalan keluaran 4 : 0.237388108523 $\approx$ 24%	(30%)

Jumlah keluaran kuasa ditakrifkan sebagai jumlah hasil keluaran pada semua pangkalan keluaran. Purata keluaran pula ialah nisbah jumlah hasil keluaran pada pangkalan keluaran N bilangan pangkalan keluaran.

Jumlah kuasa keluaran = 0.779652803  $\approx$  77 %

Kehilangan merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan jumlah kuasa optik yang hilang dalam sesuatu

peranti pasif. Berikut merupakan beberapa jenis kehilangan dalam pandu gelombang pembahagi optik iaitu kehilangan laluan dan jumlah kehilangan. Kehilangan laluan (*insertion loss*) adalah jumlah kehilangan kuasa setiap pangkalan keluaran terhadap kuasa masukan. Jumlah kehilangan dalam pandu gelombang adalah kehilangan yang berpunca daripada penyerakan, penyerapan dan ketidaksempurnaan pada pembahagi optik. (Kembangi Mekar 2006).

$$\text{Kehilangan laluan, } L = 10 \log P_o/P_{in} = -1.08 \text{ dB} \quad (4.2)$$

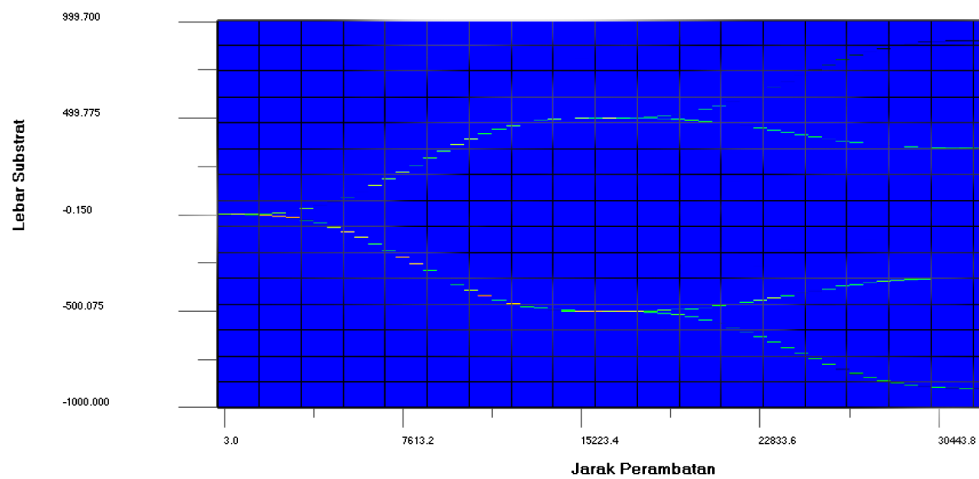
Kehilangan sisipan bagi peranti pembahagi optik pelbagai :

Pangkalan keluaran 1 =  $10 \log P_{o1}/P_{in} = -11.26 \text{ dB}$

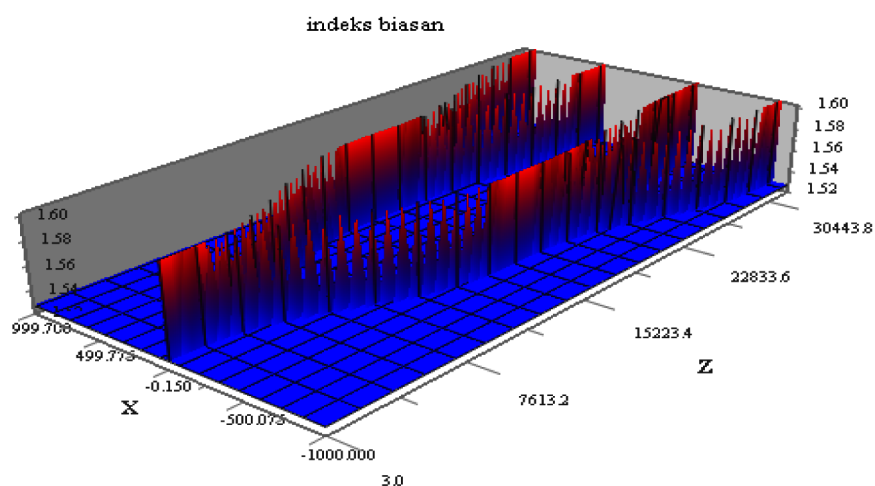
Pangkalan keluaran 2 =  $10 \log P_{o2}/P_{in} = -8.10 \text{ dB}$

Pangkalan keluaran 3 =  $10 \log P_{o3}/P_{in} = -5.04 \text{ dB}$

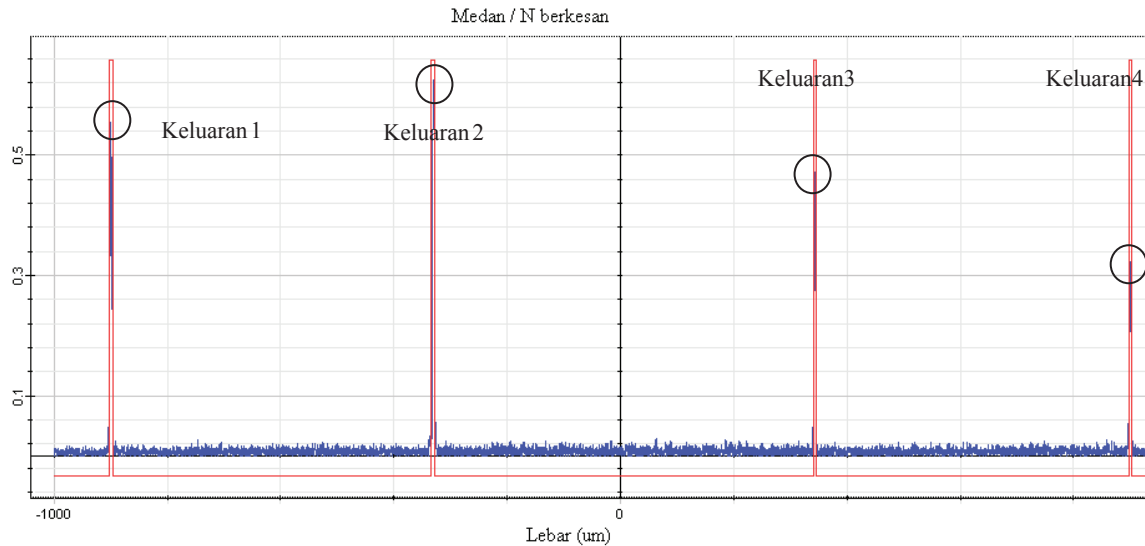
Pangkalan keluaran 4 =  $10 \log P_{o4}/P_{in} = -6.24 \text{ dB}$



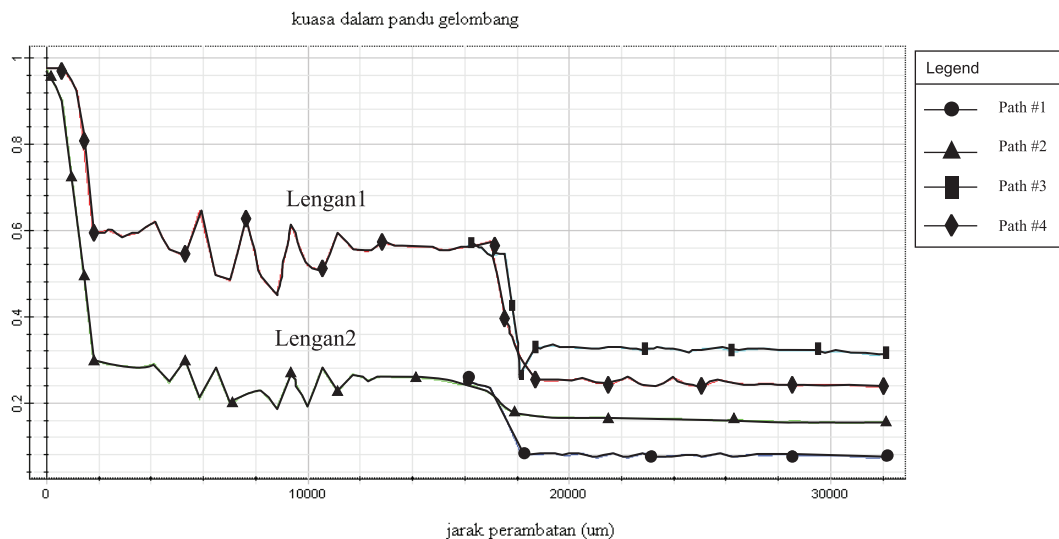
RAJAH 3. Kuasa Perambatan di Sepanjang Pandu Gelombang



RAJAH 4. Graf 3-D Nisbah Indeks Berkesan di Sepanjang Jarak Perambatan Pandu Gelombang



RAJAH 5. Medan Optik MROS pada Hujung Perambatan Pandu Gelombang

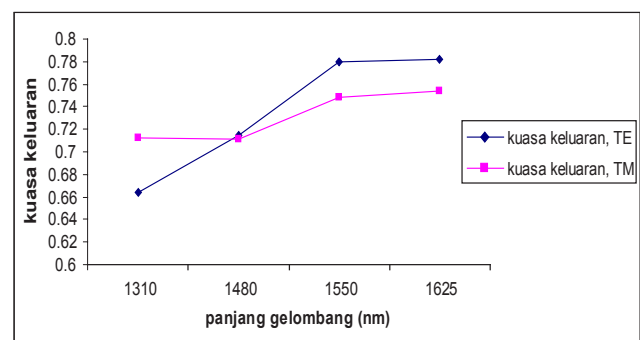


RAJAH 6. Kuasa Keluaran bagi Setiap Pangkalan Keluaran

## HASIL DAN PERBINCANGAN

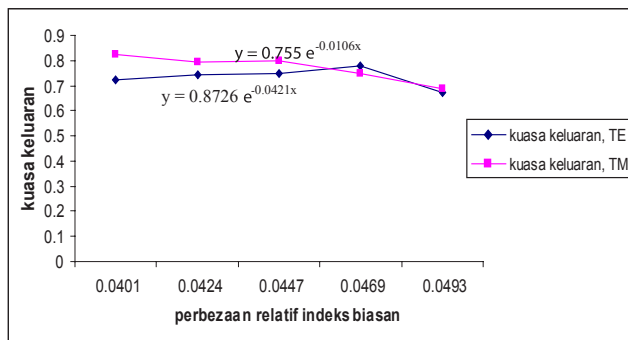
### PANJANG GELOMBANG

Kuasa keluaran pembahagi optik pelbagai di analisa dengan perubahan panjang gelombang. Empat panjang gelombang utama diambil iaitu 1310 nm (*upstream*), 1480 nm (*downstream*), 1550 nm (video) dan 1625 nm yang digunakan sebagai laluan *test* dalam FTTH. Daripada graf yang diplot (Rajah 7), kehilangan kuasa keluaran pembahagi optik pelbagai meningkat apabila panjang gelombang semakin kurang. Perbezaan kuasa maksimum dengan kuasa minimum adalah 0.12, ianya bukan satu perbezaan yang besar. Bahan yang digunakan bagi rekabentuk ini iaitu SU-8 dihasilkan untuk panjang gelombang 1550nm dan ke atas.



RAJAH 7. Kuasa Keluaran pada Perubahan Panjang Gelombang

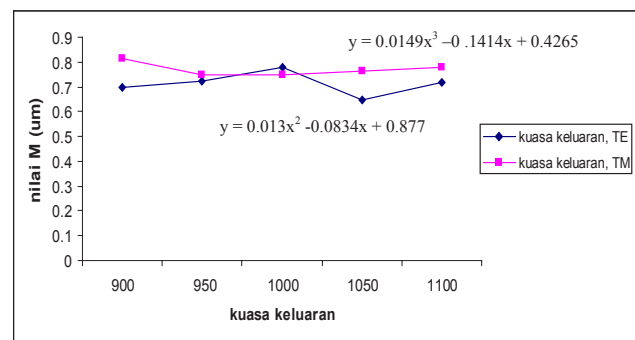
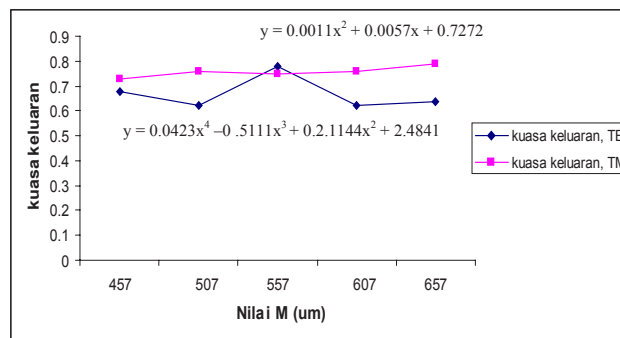
Perbezaan relatif indeks biasan dikira dengan formula berikut :  $\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2 n_1^2$ , dimana  $n_1$  merupakan indeks biasan teras dan  $n_2$  pula merupakan indeks biasan pelindung. Nilai indeks biasan pelindung iaitu indeks biasan substrat ditetapkan 1.522 manakala nilai indeks biasan teras di ubah-ubah dengan selang perubahan 0.004. Perbezaan kuasa keluaran adalah kecil dan didapati kehilangan kuasa semakin meningkat apabila perbezaan relatif indeks biasan meningkat (Rajah 8). Walaubagaimanapun secara teorinya, peningkatan indeks biasan teras akan mengubah kuasa keluaran tetapi dalam keadaan ini iaitu perubahan yang kecil menunjukkan kemalaran pada kuasa keluaran. Ini menunjukkan kestabilan pada indeks biasan yang dibangunkan. Sebarang anjakan yang berlaku daripada nilai indeks asal tidak mengubah magnitud kuasa keluaran.



RAJAH 8. Kuasa Keluaran pada Perubahan Indeks Biasan

Kesan perubahan sudut capahan pandu gelombang lengkok S terhadap kuasa keluaran di hujung pandu gelombang dikaji dengan mengubah-ubah nilai M diantara 900  $\mu\text{m}$  hingga 1100  $\mu\text{m}$  dengan selang perubahan 50  $\mu\text{m}$ . Nilai M adalah lebar bukaan cabang pada fasa pertama. Daripada graf didapati (Rajah 9), kuasa keluaran pembahagi optik pelbagai tidak banyak berubah dengan sudut capahan. Tetapi boleh dilihat purata kuasa keluaran TE dan TM semakin menurun dengan peningkatan nilai M.

Kesan perubahan sudut capahan pandu gelombang lengkok S terhadap kuasa keluaran di hujung pandu gelombang

RAJAH 9. Kuasa Keluaran pada Perubahan Sudut Capahan  $\theta_1$ RAJAH 10. Kuasa Keluaran pada Perubahan Sudut Capahan  $\theta_2$ 

JADUAL 2. Terbitan Persamaan daripada Kesan Perubahan Parameter ke atas Kuasa Keluaran Pembahagi Optik Pelbagai

Parameter	Kuasa keluaran (TE)	Kuasa keluaran (TM)
Panjang gelombang (nm)	$y = 0.0922\text{Ln}(x) + 0.662$	$y = 0.0018x^2 + 0.0071x + 0.7002$
Indeks biasan	$y = 0.755 e^{-0.0106x}$	$y = 0.8726 e^{-0.0421x}$
Sudut capahan $\theta_1$ (nilai M)	$y = 0.0149x^2 - 0.1414x + 0.4265$	$y = 0.013x^2 - 0.0834x + 0.877$
Sudut capahan $\theta_2$ (nilai M)	$y = 0.0423x^4 - 0.5111x^3 + 0.2.1144x^2 + 2.4841$	$y = 0.0011x^2 + 0.0057x + 0.7272$



dikaji dengan mengubah-ubah nilai  $M$  diantara  $457\ \mu\text{m}$  hingga  $657\ \mu\text{m}$  dengan selang perubahan  $50\ \mu\text{m}$ . Nilai  $M$  adalah lebar bukaan cabang lengan 1 dan 2 pada fasa kedua. Kuasa keluaran paling maksimum pada lebar bukaan sudut  $557\ \mu\text{m}$ . Daripada graf yang diplot (Rajah 10), di dapati kehilangan kuasa semakin meningkat dengan pertambahan sudut capahan. Kuasa keluaran mod TE dan TM hampir sama pada nilai  $M$  adalah  $557\ \mu\text{m}$ .

Jadual 2 menunjukkan terbitan persamaan daripada kesan parameter yang dikaji terhadap kuasa keluaran untuk satah TE dan TM. Melalui persamaan, hubungkait parameter-parameter yang terlibat dapat diungkapkan. Parameter  $x$  merujuk kepada saiz panjang gelombang yang diuji.

#### KESIMPULAN

Kajian ini bertujuan untuk memperkenalkan peranti baru yang direkabentuk iaitu pencerai optik pelbagai nisbah (MROS). Ianya merupakan peranti pencerai optik pertama yang mempunyai peratus agihan yang berbeza. Peranti ini dicirikan terhadap parameter dan kuasa keluaran dalam satah TE dan juga TM. Aplikasi MROS telah diterangkan dalam rangkaian capaian pengguna FTTH untuk meningkatkan keberkesanan penghantaran kuasa isyarat dan memaksimumkan penggunaannya. Dengan adanya peranti ini, jarak penghantaran isyarat ke premis pengguna dalam rangkaian FTTH dapat ditingkatkan.

Faktor-faktor yang harus dititikberatkan dalam proses rekabentuk yang dapat disimpulkan dalam kajian ini lantas menjurus kepada cadangan rekabentuk peranti yang optimum. Hasil daripada analisis ke atas kuasa keluaran MROS, didapati apabila indeks biasan bertambah, sudut capahan bertambah dan lebar pandu gelombang bertambah maka kuasa keluaran semakin berkurang. Walau bagaimanapun, kadar lebar pandu gelombang yang boleh ditentukan adalah terhad bagi memastikan mod perambatan yang merambat dalam pandu gelombang tetap dalam mod tunggal, tetapi lebar pandu gelombang juga tidak boleh terlalu kecil kerana mod perambatan tidak boleh merambat dalam pandu gelombang yang terlalu nipis. Daripada bahan yang digunakan bagi rekabentuk ini iaitu SU-8 dihasilkan untuk panjang gelombang  $1550\ \text{nm}$  dan ke atas, dan di dapati kuasa paling maksimum pada panjang gelombang  $1625\ \text{nm}$ . Kuasa keluaran semakin meningkat dengan pertambahan panjang gelombang. Semasa pencirian dijalankan, walaupun terdapat kehilangan kuasa keluaran pada pencerai optik tetapi ia masih boleh diterima. Kehilangan kuasa dalam rekabentuk disebabkan bengkokan pandu gelombang, selain itu kehilangan juga berlaku dalam

pandu gelombang linear disebabkan mod *Evanescent*.

#### PENGHARGAAN

Perhargaan Khas ditujukan ke Makmal Teknologi Fotonik, Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN) di atas kebenaran menggunakan perisian BPM\_Cad keluaran Optiwave Corporation.

#### RUJUKAN

- Azrulnizam Yusof. 2005. Teknik Gandingan Prisma Untuk Pencirian Pandu Gelombang Llanar. Tesis Dr. Falsafah, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Lin H. B., Su J. Y., Wang W. S., Cheng R. S. 1999. Novel Optical Single-Mode Asymmetric Y-Branched for Variable Power Splitting. *Journal of Quantum Electronics* 35(7):1092-1096.
- Daum, W. 2002. *Polymer Optical Fibers for Data Communication*, Berlin:Springer.
- Feit, M. D. Fleck, J. A. 1978. Light Propagation in Graded-Index Optical Fiber. *Appl. Opt* 17(24): 3990-3998.
- Anon, Gersteltec Engineering Solutions <http://www.gersteltec.ch>.
- Norazan Mohd Kassim., Abu Bakar Mohammad., Abu Shah Mohd Supa'at., Mohd Haniff Ibrahim, and Shee Yu Gang. 2004. Polymer Material for Optical Devices Application. *RF and Microwave Conference*, pp. 277-280.
- Song W. J., Song G. H., Ahn B. H., Kang M. 2003. Scalar BPM Analyses of TE and TM Polarized Fields in Bent Waveguide. *IEEE Transaction on Antennas and Propagation* 51(6): 1185-1198.
- Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Norazilawati Md Zain & Aida Baharudin Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

\*Corresponding author; e-mail: syuhaimi@vlsi.eng.ukm.my

Received Date : 2<sup>nd</sup> March 2009

Accepted Date : 24<sup>th</sup> August 2010